

KINERJA WAKTU TEMPUH KERETA API SEGMENT BOJONEGORO-KANDANGAN

Ari Wibowo

Jurusan Sipil
Fakultas Teknik
Universitas Brawijaya
Jln. MT Haryono 167
Malang 65145
ari_wibowo0903@dephub.go.id

Achmad Wicaksono

Jurusan Sipil
Fakultas Teknik
Universitas Brawijaya
Jln. MT Haryono 167
Malang 65145
wicaksono68@ub.ac.id

Ludfi Djakfar

Jurusan Sipil
Fakultas Teknik
Universitas Brawijaya
Jln. MT Haryono 167
Malang 65145
ldjakfar@ub.ac.id

Abstract

The train is a mode of transportation that has the ability to transport passengers and goods in bulk, saving energy, saving the use of space, has a high safety factor, low pollution levels, as well as more efficient to transport over long distances. However, railway performance has a major problem, as reflected in the delay, with the main indicators of speed and travel time. The purpose of this study is to optimize travel time and determine the factors that cause train delays. In this study, train speed was simulated using the software developed based on Newton's equation of the dynamic equations and applied in the area of Regional Operations 8 Surabaya, for Bojonegoro-Kandangan corridor. The results indicate that the train travel time can be accelerated and the accretion of coach 1 to 5 coaches for all train classes does not add the travel time significantly.

Keywords: speed, travel time, train performance, train delays

Abstrak

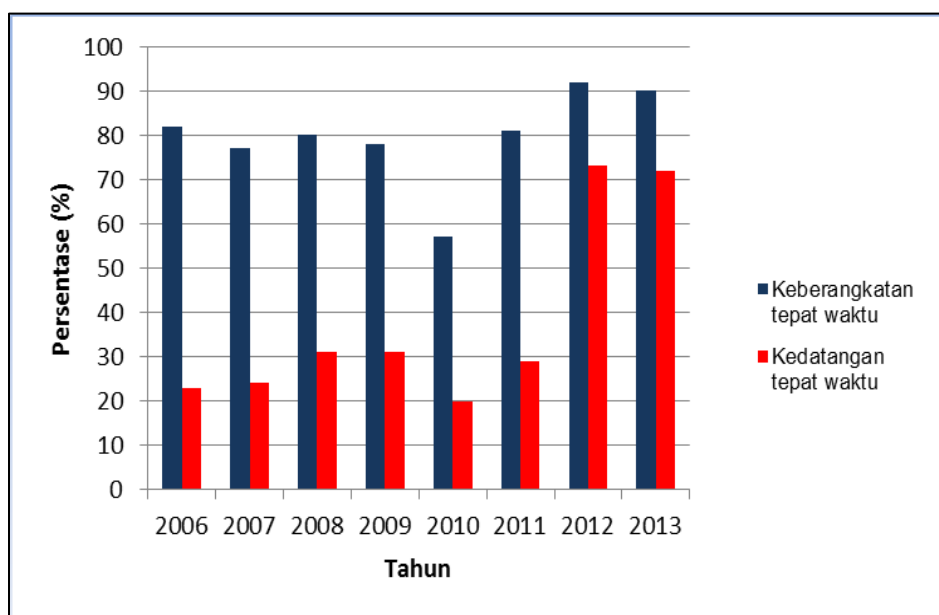
Kereta api merupakan moda transportasi yang memiliki kemampuan mengangkut penumpang dan barang secara massal, hemat energi, hemat penggunaan ruang, memiliki faktor keamanan yang tinggi, memiliki tingkat pencemaran yang rendah, serta efisien untuk angkutan jarak jauh. Namun kinerja kereta api mempunyai masalah utama, yang tercermin dari keterlambatannya, dengan indikator utama kecepatan dan waktu tempuh. Tujuan studi ini adalah untuk melakukan optimasi waktu tempuh dan mengetahui faktor-faktor yang menjadi penyebab keterlambatan kereta api. Pada studi ini dilakukan simulasi kecepatan kereta api menggunakan perangkat lunak yang dikembangkan berdasarkan persamaan pergerakan dinamik Newton dan diaplikasikan di wilayah Daerah Operasi 8 Surabaya, untuk koridor Bojonegoro-Kandangan. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa waktu tempuh kereta dapat dipercepat dan penambahan jumlah rangkaian kereta api dari 1 sampai dengan 5 kereta untuk semua kelas tidak menambah waktu tempuh secara signifikan.

Kata-kata kunci: kecepatan, waktu tempuh, kinerja kereta api, keterlambatan kereta api

PENDAHULUAN

Saat ini peningkatan layanan transportasi kereta api di Indonesia sudah cukup baik. Hal ini dilakukan karena PT Kereta Api Indonesia (Persero) melakukan restrukturisasi dan reformasi, baik manajemen, sistem informasi, maupun sistem pelayanan. Namun ketepatan waktu perjalanan masih perlu peningkatan, seperti yang terlihat pada Gambar 1.

Salah satu cara untuk meningkatkan pelayanan, kinerja, dan minat pengguna moda transportasi kereta api adalah dengan meningkatkan ketepatan waktu keberangkatan dan kedatangan perjalanan kereta api. Peningkatan ketepatan waktu tempuh dapat dilakukan dengan meningkatkan kecepatan rata-rata (Goverde, 2005). Oleh karena itu, pada penelitian ini dilakukan evaluasi ketepatan waktu tempuh dengan tujuan untuk mengetahui waktu tempuh yang optimal, mengetahui faktor-faktor yang menyebabkan ketidaktepatan waktu keberangkatan dan waktu kedatangan, dan menentukan rekomendasi untuk meningkatkan kinerja kereta api sehingga waktu tempuh aktual sesuai dengan waktu tempuh yang direncanakan.



Gambar 1 Waktu Keberangkatan dan Kedatangan

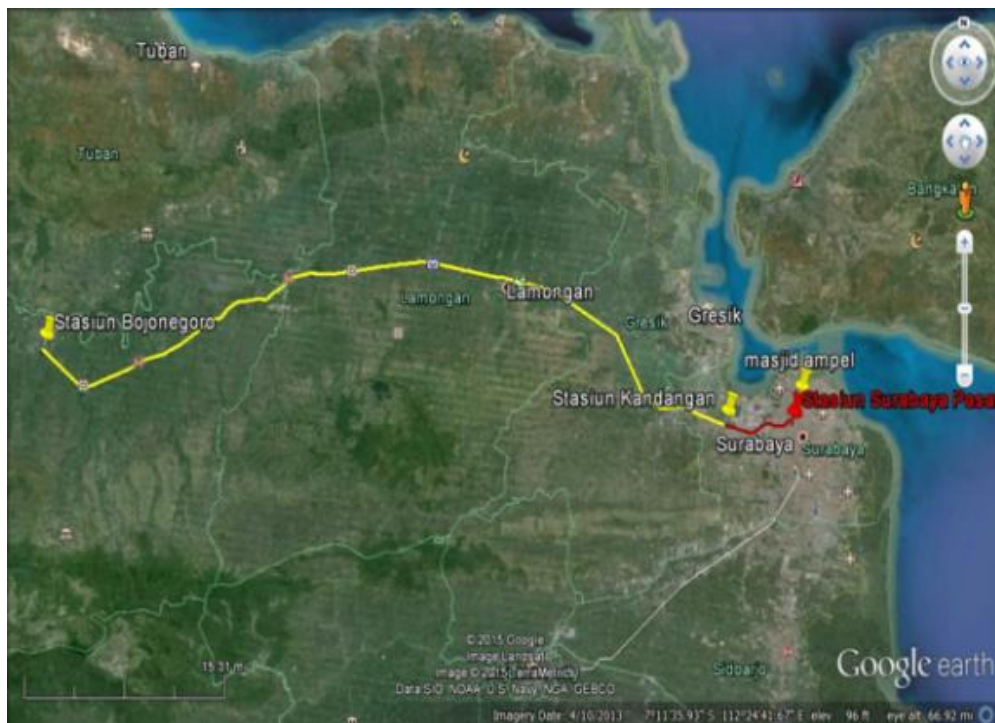
Penelitian yang pernah dilakukan menunjukkan bahwa faktor penyebab deviasi waktu perjalanan kereta api adalah lemahnya perencanaan perjalanan, yang meliputi penjadwalan dan perencanaan kecepatan maksimum yang tidak sesuai dengan infrastruktur yang ada. Selain itu, keterbatasan dan kurangnya kehandalan infrastruktur belum mendukung pola operasi (Firmansyah, 2012). Peningkatan kehandalan sistem penjadwalan dengan mengurangi deviasi waktu perjalanan untuk setiap bagian jalur dapat dilakukan dengan menciptakan penjadwalan yang homogen, untuk kereta api dengan kelas kecepatan yang sama (Vromans, 2004).

Penelitian ini dilakukan di Wilayah Daerah Operasi (Daop) 8 Surabaya, untuk Koridor Bojonegoro-Kandangan. Terdapat 4 jenis kereta api penumpang yang diamati, yaitu Kelas Eksekutif Argo (Kereta Anggrek), Kelas Eksekutif Satwa (Sembrani dan Gumarang), Kelas Bisnis (Harina), dan Kelas Ekonomi (Kertajaya, Maharani). Lokasi studi mencakup 14 stasiun dengan panjang jalur kereta api 96,2 km. Jalur ini ditentukan

karena seluruhnya terdiri atas jalur ganda (*double track*) dan sudah beroperasi secara baik sehingga bisa dilakukan evaluasi terhadap kinerjanya.

Data sekunder diperoleh dengan mengumpulkan data dari instansi terkait, yaitu Direktorat Jenderal Perkeretaapian dan PT KAI (Persero). Data tersebut meliputi:

1. Data sarana; terdiri atas jenis atau kelas kereta api beserta spesifikasi teknis lokomotif (daya tarik atau *Tractive Effort*, berat lokomotif, koefisien adhesi, dan daya *output* mesin), kereta (berat kereta api berdasarkan jenisnya), dan susunan rangkaian.
2. Data prasarana; terdiri atas jenis dan kelas stasiun serta jalur (panjang, gradien, lokasi, dan panjang lengkungan).



Gambar 2 Lokasi Studi

Data primer didapat dengan cara observasi dan mencatat waktu kedatangan dan keberangkatan di stasiun-stasiun yang menjadi tempat pemberhentian. Di Stasiun Bojonegoro dan Stasiun Kandangan dicatat waktu tempuh akhir untuk setiap perjalanan kereta api.

Penelitian ini adalah penelitian kuantitatif yang dilakukan dengan menganalisis data dengan metode simulasi. Metode ini merupakan suatu cara untuk memproyeksikan kondisi aktual menjadi kondisi ideal dan optimal. Simulasi dilakukan dengan menggunakan alat bantu berupa perangkat lunak berbasis Visual Basic yang dikembangkan berdasarkan teori pergerakan dinamis Newtons. Teori optimasi waktu tempuh ini pada dasarnya adalah resultan seluruh gaya yang menimbulkan dan menghambat pergerakan sama dengan perkalian masa dan percepatannya. Sedangkan percepatan adalah fungsi differensial atau

dinamik kecepatan terhadap waktu yang dibutuhkan untuk bergerak (Jong dan Chang, 2005).

Fungsi optimasi adalah:

$$\min \int dt \quad (1)$$

terhadap fungsi:

$$T_e(v) - (R_s(v) + R_r(v) + R_g(i) + R_c(\gamma) + R_t - B_e(v)) = M_e \frac{dv}{dt} \quad (2)$$

dan dengan batasan:

$$V \leq V_{\max} = \min \{V_t, V_r, V_g, V_o, V_w, V_s\} \quad (3)$$

dengan:

$T_e(v)$ = Gaya tarik (N)

$R_s(v)$ = Hambatan *starting* (N)

$R_r(v)$ = Hambatan gerak (N)

$R_g(v)$ = Hambatan ketinggian (*grade*) (N)

$R_c(v)$ = Hambatan lengkung (N)

$R_t(v)$ = Hambatan terowongan (N)

$B_e(v)$ = Gaya pengereman (N)

$M_e(v)$ = Masa kereta api (kg)

V = Kecepatan (m/s)

I = Grade (‰)

t = Waktu (s)

γ = Radius lengkung (M)

V = Kecepatan kereta (km/jam)

V_{\max} = Kecepatan max yangizinkan (km/jam)

V_t = Kecepatan karena stamformasi kereta (km/jam)

V_r = Kecepatan karena lengkungan (km/jam)

V_g = Kecepatan karena turunan (km/jam)

V_o = Kecepatan karena wesel (km/jam)

V_w = Kecepatan karena kekuatan *track* (km/jam)

V_s = Kecepatan karena *signal block* (km/jam)

Langkah awal penelitian ini adalah membuat kerangka kerja berupa perangkat lunak dan disesuaikan dengan kebutuhan simulasi untuk menjawab tujuan penelitian. Setelah perangkat lunak tersedia, langkah berikutnya adalah rekapitulasi data dan input data sarana dan prasarana, sehingga dapat diintegrasikan ke dalam perangkat

lunak. Langkah ini bertujuan untuk membuat dan mengkondisikan perangkat lunak simulasi agar sesuai dengan kondisi sesungguhnya.

Untuk mencapai tujuan penelitian dilakukan tiga variasi simulasi. Pertama adalah melakukan simulasi waktu tempuh optimal, yang artinya mempresentasikan kondisi pergerakan kereta api sesuai dengan sarana dan prasarana yang ada di lokasi penelitian dan menghasilkan model profil kecepatan optimum sehingga diperoleh waktu tempuh pergerakan kereta api optimal. Waktu hasil optimasi akan dibandingkan dengan waktu tempuh aktual sehingga diketahui rentang persentase deviasinya. Kedua adalah simulasi penambahan jumlah rangkaian. Simulasi ini untuk mengetahui apakah variabel berat rangkaian akan menimbulkan pertambahan waktu yang mengakibatkan keterlambatan. Ketiga adalah simulasi persilangan dan penyusulan. Proses ini dilakukan untuk mengetahui kehilangan waktu akibat *layout* jalur tunggal di lokasi penelitian.

Dari ketiga simulasi dapat dilakukan analisis penyebab keterlambatan dan waktu *recovery*. Analisis waktu *recovery*, yaitu analisis untuk menentukan nilai yang dapat dihemat jika kecepatan kereta api menggunakan kecepatan optimasi terhadap waktu yang ditempuh dengan kecepatan perencanaan saat ini. Perhitungannya adalah waktu tempuh perencanaan ditambahkan 10 % kemudian ditambahkan dengan selisih waktu tempuh optimasi dengan perencanaan.

HASIL SIMULASI DAN PEMBAHASAN

Waktu Tempuh Optimal

Dari hasil proses simulasi *output* diperoleh waktu tempuh hasil optimasi, perhitungan deviasi antara waktu tempuh optimasi, dan waktu tempuh rencana. Hasil simulasi yang ditunjukkan pada Tabel 1 dan Tabel 2 menunjukkan perbedaan waktu tempuh aktual dan simulasi untuk arah Bojonegoro-Kandangan sebesar 13,24 % hingga 33,53 % dan untuk arah Kandangan-Bojonegoro 14,43 % hingga 33,77 %. Perbedaan rata-rata adalah 22,44 % untuk arah Bojonegoro-Kandangan dan 22,64 % untuk arah Kandangan-Bojonegoro. Penyebab terjadinya hal tersebut disajikan pada Tabel 3.

Tabel 1 Rekapitulasi Hasil Simulasi Waktu Tempuh Optimal Bojonegoro-Kandangan

Jenis Kereta	Daya Lokomotif (HP)	Berat Total KA (ton)	Waktu Tempuh Rencana (menit)	Waktu Tempuh Aktual (menit)	Waktu Tempuh Simulasi (menit)	Deviasi (%)
Anggrek	2.250	405	65,5	71,4	63,08	13,24
Sembrani	2.250	404	82	88,5	68,37	29,45
Harina	2.000	324	87	85,1	72,01	18,22
Gumarang	2.000	425	87	89,4	74,70	20,12
Kertajaya	2.000	409	86	87,7	73,37	19,24
Maharani	2.000	409	85	97,8	73,60	33,53
Total				519,9	424,61	22,44

Tabel 2 Rekapitulasi Hasil Simulasi Waktu Tempuh Optimal Kandangan-Bojonegoro

Jenis Kereta	Daya Lokomotif (HP)	Berat Total KA (ton)	Waktu Tempuh Rencana (menit)	Waktu Tempuh Aktual (menit)	Waktu Tempuh Simulasi (menit)	Deviasi (%)
Anggrek	2.250	405	65,5	72,5	63,39	14,43
Sembrani	2.250	404	82	86,1	68,50	25,69
Harina	2.000	324	87	88,2	72,26	22,11
Gumarang	2.000	425	87	89,8	74,19	21,00
Kertajaya	2000	409	86	98,3	73,51	33,77
Maharani	2000	409	85	86,8	73,64	17,92
Total				521,8	492,5	22,64

Dapat dilihat bahwa penyebab terjadinya perbedaan waktu tempuh adalah karena perbedaan kecepatan rata-rata aktual dengan kecepatan optimasi. Untuk arah Bojonegoro dan arah Kandangan terdapat perbedaan karena perbedaan arah menyebabkan perbedaan naik dan turun gradien sehingga mempengaruhi kecepatan. Dari hasil tersebut diketahui bahwa kecepatan operasi masih bisa ditingkatkan dan masih memenuhi faktor keamanan karena kecepatan maksimal perencanaan adalah 95 km/jam dan nilai ini juga dipakai dalam batas kecepatan maksimal dalam proses simulasi.

Tabel 3 Rekapitulasi Perbandingan Kecepatan Perjalanan Kereta Api

Jenis Kereta	Berat Total KA (ton)	Daya Lokomotif (HP)	Kecepatan Rata-rata Rencana (km/jam)	Kecepatan Rata-rata Aktual (km/jam)	Kecepatan Optimasi (km/jam)
Anggrek	405	2.250	86,80	80,81	92,74
Sembrani	404	2.250	75,02	65,20	91,91
Harina	324	2.000	71,96	67,80	91,83
Gumarang	425	2.000	72,51	64,54	89,11
Kertajaya	409	2.000	71,56	65,79	90,45
Maharani	409	2.000	71,96	59,00	89,89

Penambahan Jumlah Rangkaian atau Stamformasi

Hasil simulasi penambahan berat kereta api atau stamformasi 1 sampai dengan 5 kereta disajikan pada Tabel 4. Secara umum penambahan rangkaian kereta atau stamformasi 1 sampai dengan 5 kereta tidak mempengaruhi waktu tempuh atau tidak menyebabkan keterlambatan. Hal tersebut disebabkan penambahan rangkaian kereta sampai dengan 5 kereta di jalur lokasi penelitian tidak menyebabkan pertambahan waktu melebihi 10 % terhadap waktu total perjalanan. Pada Tabel 5 dan Tabel 6 terlihat jumlah penambahan rangkaian ketika waktu tempuh simulasi mencapai waktu perencanaan.

Persilangan dan Penyusulan

Simulasi ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh *layout* jalur tunggal ke *layout* jalur ganda, yaitu adanya persilangan dan penyusulan, sehingga dapat diketahui perubahan waktu tempuh karena persilangan atau penyusulan. Untuk kereta api ekonomi, dalam hal ini Kertajaya dan Maharani, setiap kali pemberhentian dan melakukan percepatan lagi memerlukan waktu 4,6 menit dan waktu operasi persinyalan sistem elektronik adalah 1 menit (untuk 2 kereta menjadi 2 menit). Dengan demikian waktu total untuk persilangan atau penyusulan adalah jumlah waktu pemberhentian kereta api sampai bergerak kembali ditambah dengan waktu operasi persinyalan dan ditambah lagi waktu tunggu kereta api yang menyilang atau menyusul. Jika kereta api lawan tidak mengalami keterlambatan, waktu yang dibutuhkan adalah 6,6 menit. Sebagai contoh adalah kereta api bersilang di suatu stasiun. Bila kereta api A berhenti dan menunggu kereta api B lewat selama 1 menit di stasiun tersebut, waktu yang diperlukan adalah 4,6 menit ditambah 1 menit ditambah 2 menit, sehingga waktu total yang dibutuhkan adalah 7,6 menit.

Tabel 4 Nilai Penambahan Waktu dengan Penambahan Jumlah Rangkaian Kereta

Arah Perjalanan	Jumlah Penambahan Kereta	Nilai Keterlambatan (menit)					
		Anggrek	Sembrani	Harina	Gumarang	Kertajaya	Maharani
Bojonegoro-Kandangan	1	0,175	0,246	0,220	0,342	0,040	0,350
	2	0,342	0,250	0,676	0,352	0,311	0,639
	3	0,475	0,937	0,946	1,111	1,026	0,975
	4	0,473	1,442	1,238	1,619	1,397	1,451
	5	0,927	2,253	1,429	2,095	1,873	2,003
Kandangan-Bojonegoro	1	0,125	0,059	0,077	0,512	0,102	0,020
	2	0,317	0,455	0,281	0,939	0,587	0,417
	3	0,515	0,766	1,453	1,440	1,042	0,964
	4	0,680	1,125	1,389	1,954	1,475	1,470
	5	0,911	1,505	2,493	2,529	1,547	1,947

Tabel 5 Jumlah Pertambahan Kereta Sampai Batas Waktu Perencanaan Arah Bojonegoro-Kandangan

Kereta	Arah Bojonegoro-Kandangan	
	Penambahan Rangkaian Maksimal untuk Mencapai Waktu Perencanaan	Deviasi Waktu Tempuh Penambahan Rangkaian dengan Perencanaan
Anggrek	12 kereta (@40 ton)	2,76
Sembrani	11 kereta (@40 ton)	12,8
Harina	18 kereta (@37 ton)	15,2
Gumarang	9 kereta (@37 ton)	12,6
Kertajaya	12 kereta (@36 ton)	12,478
Maharani	11 kereta (@36 ton)	11,757

Tabel 6 Jumlah Pertambahan Kereta Sampai Batas Waktu Perencanaan Arah Kandangan-Bojonegoro

Kereta	Arah Kandangan-Bojonegoro	
	Penambahan Rangkaian Maksimal untuk Mencapai Waktu Perencanaan	Deviasi Waktu Tempuh Penambahan Rangkaian dengan Perencanaan
Anggrek	13 kereta (@40 ton)	2,99
Sembrani	13 kereta (@40 ton)	13,5
Harina	15 kereta (@37ton)	14,74
Gumarang	13 kereta (@40 ton)	12,81
Kertajaya	18 kereta (@36 ton)	13,49
Maharani	13 kereta (@40 ton)	13,36

Dari simulasi tersebut dapat diketahui bahwa penghematan waktu tempuh akibat perubahan *layout* dari jalur tunggal menjadi jalur ganda cukup besar. Sebaliknya jika *layout* sebenarnya adalah jalur tunggal, nilai 7,6 menit akan menjadi pertambahan waktu tempuh.

Tabel 7 Nilai Waktu *Recovery* Arah Bojonegoro-Kandangan

Jenis Kereta	Waktu Tempuh Rencana (menit)	Bojonegoro-Kandangan			
		Waktu Tempuh Simulasi (menit)	<i>Recovery</i> Waktu Perencanaan 10 % (menit)	Deviasi (menit)	<i>Recovery</i> Waktu Simulasi (menit)
Anggrek	65,5	63,08	6,55	2,66	8,97
Sembrani	82	68,38	8,20	14,99	21,82
Harina	87	72,02	8,70	16,49	23,69
Gumarang	87	74,40	8,70	13,53	21,30
Kertajaya	86	73,52	8,60	13,88	21,08
Maharani	85	73,24	8,50	12,54	20,26

Tabel 8 Nilai Waktu *Recovery* Kandangan-Bojonegoro

Jenis Kereta	Waktu Tempuh Rencana (menit)	Bojonegoro -Kandangan			
		Waktu Tempuh Simulasi (menit)	<i>Recovery</i> Waktu Perencanaan 10 % (menit)	Deviasi (menit)	<i>Recovery</i> Waktu Simulasi (menit)
Anggrek	65,5	63,39	6,34	2,113	2,32
Sembrani	82	68,50	6,85	13,5	14,85
Harina	87	72,26	7,23	14,74	16,21
Gumarang	87	74,19	7,42	12,81	14,09
Kertajaya	86	73,51	7,35	12,49	13,74
Maharani	85	73,64	7,36	11,36	12,50

Waktu *Recovery* dan Penyebab Keterlambatan

Analisis ini dilakukan untuk mengetahui besarnya waktu *recovery*. Hasil analisis ditunjukkan pada Tabel 7 dan Tabel 8.

Analisis diskriptif frekuensi dilakukan terhadap penyebab keterlambatan. Hasil analisis ini dapat dilihat pada Tabel 9.

Tabel 9 Penyebab Keterlambatan

Valid	Faktor			
	<i>Frequency</i>	<i>Percent</i>	<i>Valid Percent</i>	<i>Cumulative Percent</i>
Lalulintas Jalan Macet	2	6,1	6,1	6,1
Tunggu Lokomotif	1	3,0	3,0	9,1
Tunggu Rangkaian	1	3,0	3,0	12,1
Tambah/Lepas Rangkaian di Stasiun	3	9,1	9,1	21,2
Pengukur Kecepatan (Lokomotif)	2	6,1	6,1	27,3
Gangguan AC (Kereta)	1	3,0	3,0	30,3
Gangguan Kelistrikan (Kereta)	1	3,0	3,0	33,3
Blok Rem (Kereta)	1	3,0	3,0	36,4
Pegas	1	3,0	3,0	39,4
Perbaikan (Kereta)	1	3,0	3,0	42,4
Selang Air Brake (Gerbong)	1	3,0	3,0	45,5
Masinis Jalan Lambat	3	9,1	9,1	54,5
Langsiran Belum Selesai	3	9,1	9,1	63,6
Pemindahan Persilangan	2	6,1	6,1	69,7
Pemindahan Penyusulan	2	6,1	6,1	75,8
Antrian KA	2	6,1	6,1	81,8
Gangguan Ticketing	1	3,0	3,0	84,8
Naik/Turun Penumpang	1	3,0	3,0	87,9
Tunggu Cucian Kereta	1	3,0	3,0	90,9
Pengisian Air (Pelayanan)	3	9,1	9,1	100,0
Total	33	100,0	100,0	

KESIMPULAN

Berdasarkan kajian yang telah dilakukan dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Penambahan stamformasi atau rangkaian 1 sampai dengan 5 rangkaian kereta dengan berat sesuai dengan kelas kereta tidak menimbulkan perubahan waktu yang signifikan.
2. Perubahan *layout* jalur kereta api dari jalur tunggal menjadi jalur ganda dapat menghemat waktu 6,6 menit untuk setiap kali persilangan atau penyusulan.
3. Yang menjadi prioritas untuk diperbaiki berdasarkan kategori faktor penyebab keterlambatan adalah faktor eksternal, yang berasal dari lalulintas di jalan yang macet,

sebesar 6,1 %, faktor sarana (indikator kecepatan lokomotif rusak) sebesar 9,1 %, faktor operasi (tambah atau lepas rangkaian, langsiran, pemindahan persilangan dan penyusulan, dan antrian KA) sebesar 36,5 %, serta faktor manusia (masinis jalan lambat) 9,1 %.

DAFTAR PUSTAKA

- Firmansyah. 2012. *Peningkatan Waktu Perjalanan KRL JABODETABEK dalam Upaya Meningkatkan Kinerja Transportasi Berbasis Kereta Api*. Jakarta.
- Goverde, P. 2005. *Punctuality of Railway Operations and Timetable Stability Analysis*. TRAIL Thesis Series No. T2005/10. Delft: The Netherlands TRAIL Research School.
- Jong, J-C, Chang, S. 2005. *Algorithms for Generating Train Speed Profiles*. Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies, 6: 356-371.
- Supriadi, U. 2008. *Perencanaan Perjalanan Kereta Api dan Pelaksanaannya*. Jakarta.